

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
16 DE 44 34 168 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 J 3/30  
G 01 J 3/50  
G 01 N 21/25

21 Aktenzeichen: P 44 34 168.7  
22 Anmeldetag: 24. 9. 94  
43 Offenlegungstag: 28. 3. 96

DE 44 34 168 A 1

71 Anmelder:  
Byk-Gardner GmbH, 82538 Geretsried, DE

74 Vertreter:  
Dr. M. Wallinger, Dr. J. Kroher, Dipl.-Ing. W. Strobel,  
80336 München

72 Erfinder:  
Sperling, Uwe, Dipl.-Phys., 82538 Geretsried, DE

54 Vorrichtung und Verfahren zur Messung und Auswertung von spektralen Strahlungen und insbesondere zur Messung und Auswertung von Farbeigenschaften

57 Vorrichtung und Verfahren zur Messung und Auswertung einer spektralen Strahlung innerhalb eines vorgegebenen Wellenlängenbereiches. Es ist eine Anzahl von N1 Strahlungsquellen vorgesehen, sowie eine Sensoreinrichtung, welche die Strahlung innerhalb dieses vorgegebenen Wellenlängenbereiches erfaßt. Die Strahlungsquellen sind derart ausgewählt, daß sie voneinander linear unabhängig sind und in Überlagerung den vorgegebenen Wellenlängenbereich abdecken. In entsprechender Weise weist die Sensoreinrichtung eine Vielzahl von M1 Sensoren auf, deren spektralen Charakteristika ebenfalls voneinander linear unabhängig sind und sich im vorgegebenen Wellenlängenbereich so überlagern, daß dieser Bereich abgedeckt ist. Es ist eine Steuereinrichtung mit einer Speichereinrichtung vorgesehen, in der eine Anzahl von Kalibrierfunktionen gespeichert sind, deren spektralen Charakteristiken voneinander linear unabhängig sind und die derart mit den Ausgangswerten der Sensoreinrichtung verknüpft werden, daß daraus der spektrale Verlauf der zu messenden Strahlung bestimmbar ist.

DE 44 34 168 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01.96 602 013/346

22/29

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung und Auswertung von spektralen Strahlungen. Dabei sind unter dem Begriff "spektrale Strahlungen" Strahlungen zu verstehen, die sich über einen bestimmten Wellenlängenbereich erstrecken. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung und Auswertung der Farbeigenschaften von passiv oder aktiv strahlenden Körpern.

Die Aufgabe und Lösung der Erfindung wird nachfolgend am Beispiel einer Vorrichtung und eines Verfahrens zur Messung und Auswertung der spektralen Eigenschaften von Farben beschrieben, das heißt von Strahlungen, die im sichtbaren Lichtbereich zwischen 380 und 780 Nanometer (nm) liegen. Die Erfindung und ihre Anwendung ist jedoch nicht auf den Bereich des sichtbaren Lichtes beschränkt, sondern auch auf Strahlungen anwendbar, welche eine größere bzw. eine kleinere Wellenlänge aufweisen.

Die Farbe der Oberflächen ist eine wesentliche Eigenschaft von allen Gegenständen des täglichen Lebens, wie beispielsweise Kleidung, Einrichtungsgegenstände und Gebrauchsgegenstände, wie Autos und dergleichen. Der Farbeindruck entsteht dadurch, daß z. B. mit Licht bestrahlte Oberflächen das auftreffende Licht in einer bestimmten Weise absorbieren bzw. reflektieren, so daß das von der Oberfläche reflektierte Licht einen bestimmten spektralen Verlauf aufweist, der vom Auge eines Betrachters als Farbe erkannt wird. Um Farben bzw. farbige Oberflächen reproduzierbar herstellen zu können, ist es erforderlich, diesen spektralen Verlauf zu erfassen.

Die Kenntnis der spektralen Eigenschaften von Farbe ist auch wichtig, um Farbe fotografisch, auf Druckerzeugnissen, Filmen usw. korrekt darzustellen und insbesondere, um Farbe auf elektronischem Weg erfassen, übertragen und beispielsweise auf den Bildschirmen von Fernsehgeräten und Computermonitoren korrekt darstellen zu können.

Die spektrale Verteilung des Lichtes, welches beispielsweise von einem farbigen Körper reflektiert wird und welches einen bestimmten Farbeindruck erzeugt, wird als Farbreizfunktion  $\phi(\lambda)$  bezeichnet. Die Farbreizfunktion wird zum einen durch die spektrale Verteilung des Lichtes  $S(\lambda)$ , das auf den Körper auftrifft, sowie durch die von der Wellenlänge abhängige, die Reflexionseigenschaft kennzeichnende Remissionsfunktion  $\rho(\lambda)$  bestimmt. Dabei ist die Farbreizfunktion

$$\phi(\lambda) = \rho(\lambda) S(\lambda)$$

das bedeutet, daß die Farbreizfunktion das Produkt der spektralen Strahlungsverteilung der Lichtquelle und der Remissionsfunktion ist.

Falls das Licht vom Körper nicht reflektiert wird, sondern den Körper durchleuchtet, tritt anstelle der Remissionsfunktion die spektrale Transmissionsfunktion  $\tau(\lambda)$ .

Die Abhängigkeit der Farbreizfunktion von der spektralen Verteilung des Lichtes, das auf die Oberfläche fällt, bedeutet, daß sich der Farbeindruck ändern kann, wenn sich die spektrale Intensitätsverteilung der Beleuchtung ändert. Derartige Unterschiede sind beispielsweise zu beobachten, wenn ein Gegenstand zuerst mit Tageslicht (Metamerie) und dann mit Kunstlicht beleuchtet wird.

Es hat sich gezeigt, daß der Farbeindruck, den eine Farbe beim sogenannten Normbeobachter bewirkt, durch drei Variable, sogenannte Primärvalenzen, beschrieben werden kann. Danach werden die Farbwerte R, G, B einer Farbe, die durch eine Farbreizfunktion  $\phi(\lambda)$  hervorgerufen wird, durch folgende Integrationen bestimmt:

$$X = k \int_{\lambda} \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int_{\lambda} \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{\lambda} \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Dabei sind X, Y, Z die Farbwerte,  $\phi(\lambda)$  ist die Farbreizfunktion,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  und  $\bar{z}$  ist die Norm-Spektralwertfunktion in Abhängigkeit von  $\lambda$ . Eine entsprechende Norm für Farbwerte wurde 1931 von der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) für die Beobachtung kleiner Farbflächen festgelegt, und zwar für einen Beobachtungswinkel von 2°. 1964 wurde dieses System durch ein 10°-System ergänzt. Neben diesen Normungen gibt es auch andere Farbstandards, die von nationalen Normorganisationen festgelegt wurden, und in der Regel auf der Young-Helmholtzschen Dreifarben Theorie beruhen.

Zur Messung der Farbeigenschaften eines Körpers gibt es eine Vielzahl von Geräten, deren wichtigsten Typen nachfolgend kurz beschrieben werden.

Ein typisches passives Farbmeßgerät mißt die von einem Körper durch Selbststrahlung oder durch Reflexion ausgehende Strahlung mittels dreier lichtsensitiver Detektoren, vor die jeweils ein Filter geschaltet ist, durch

welche zum Beispiel die vorgenannten Spektralwert-Funktionen  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  und  $z(\lambda)$  nachgebildet sind. Aus den Meßwerten der Sensoren können unmittelbar die Farbwerte X, Y, Z berechnet und angezeigt werden. Der Nachteil dieses Gerätes ist jedoch, daß die Filterfunktionen den jeweiligen Spektralwert-Funktionen sehr genau nachgebildet sein müssen, was sehr aufwendig ist. Außerdem können diese Geräte Metamerie-Effekte nicht erfassen.

Wird das Gerät zur Messung von reflektierenden Flächen verwendet, sind die gemessenen Werte nur aussagekräftig, wenn die Probe mit einer Normlichtart, wie sie beispielsweise in der deutschen DIN 5033 festgelegt ist, belichtet wird.

Das genannte Farbmeßgerät erlaubt nur die Anzeige der drei Farbwerte, die Remissionsfunktion in Abhängigkeit von  $\lambda$  kann damit jedoch nicht ermittelt werden.

Eine weitere Bauart von Farbmeßgeräten sind die sogenannten Spektralphotometer. Bei diesen Geräten sind z. B. 16 oder 32 schmalbandige Filter in Verbindung mit einem Sensor vorgesehen, so daß die Intensität des reflektierten Lichtes in einem schmalen Wellenlängenbereich erfaßt werden kann. Dadurch kann die Remissionsfunktion in Abhängigkeit von der Wellenlänge über den jeweiligen Wellenlängenbereichen bestimmt und daraus die spektrale Verteilung dieser Funktion aufgezeichnet werden. Dabei ist allerdings für jeden als Stützstelle verwendeten Kurvenpunkt der spektralen Verteilung ein eigenes Filter erforderlich. Auch hier ist jedoch der Nachteil, daß die konstruktive Gestaltung des Gerätes und insbesondere die Herstellung der schmalbandigen Filter sehr aufwendig ist, so daß die Geräte in der Regel nur im Labor eingesetzt werden.

Bei einer anderen Bauart von Spektralphotometern wird das reflektierte Licht zerlegt, wobei für die Zerlegung entweder ein Prisma verwendet wird, da die Brechung von der Wellenlänge abhängig ist, bzw. ein Gitter, da die Beugung ebenfalls von der Wellenlänge abhängig ist. Diese Geräte sind jedoch bezüglich ihres Aufbaus außerordentlich aufwendig, so daß auch hier die Laboranwendung im Vordergrund steht.

Ein weiteres bekanntes Farbmeßgerät ist der Monochromator, der jeweils nur Licht einer bestimmten Wellenlänge auf die Probe fallen läßt, wodurch eine genaue Erfassung der spektralen Verteilung möglich ist. Auch dieses Gerät ist jedoch sehr aufwendig und wie das vorher beschriebene Spektralphotometer im wesentlichen ein reines Laborgerät.

Es hat bereits zahlreiche Bestrebungen gegeben, ein Farbmeßgerät zu entwickeln, welches auch für den Einsatz außerhalb des Labors, also z. B. in der Produktion und dergleichen, geeignet ist.

Ein Gerät gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist mit der DE 42 02 822 A1 bekannt geworden. Bei diesem Farbmeßgerät ist ein zylindrisches Substrat vorgesehen, auf dessen einer Seite ein Temperatursensor und auf dessen anderer Seite im Kreis angeordnete Lichtquellen aufgebracht sind, die durch eine zylindrische Wand von einer Anordnung von vier lichtempfindlichen Sensoren getrennt sind. Das Gerät weist weiterhin eine Vielzahl von Glasfasern auf, mit denen Licht von den Lichtquellen zu einer zu messenden Fläche geführt wird, dort reflektiert und über die Glasfasern zu den Sensoren zurück geführt wird.

Die Lichtquellen und die Sensoren haben jeweils unterschiedliche spektrale Charakteristiken, und die Lichtquellen werden nacheinander mit Energie versorgt und das jeweils reflektierte Licht mit den Detektoren gemessen.

Anschließend wird ein Satz gewichteter Integrationen gebildet, wobei die Anzahl der Integrationen das Produkt aus der Anzahl der Lichtquellen und der Anzahl der Detektoren ist. Die Wichtungsfunktionen der Integrationen sind das Produkt der jeweiligen Beleuchtungs-Wichtungsfunktion und der jeweiligen Sensor-Wichtungsfunktion. Aus diesem Satz von gewichteten Integrationswerten wird durch lineare Transformation ein Satz von gewichteten Integrationswerten berechnet, indem vorbestimmte Koeffizienten für die Transformation verwendet werden. Dadurch ist es möglich, mit Bauelementen, deren spektrale Charakteristik nicht den Charakteristiken zur Bestimmung von Normfarbwerten entspricht, Normfarbwerte zu berechnen. Die Vorrichtung hat jedoch den Nachteil, daß die spektrale Auflösung unmittelbar an die Anzahl der Beleuchtungsquellen und Sensoren gebunden ist. Um eine relativ geringe Auflösung mit 18 Werten, deren Abstand zudem nicht notwendigerweise gleich ist, zu erreichen, sind beispielsweise 6 Beleuchtungsquellen und 3 Sensoren erforderlich.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Messung und Auswertung einer spektralen Strahlung zu schaffen, welche einfach und kostengünstig gefertigt werden kann und welche Strahlungsmessungen und Auswertungen mit hoher spektraler Auflösung erlaubt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist Gegenstand des Anspruchs 12.

Durch die Erfindung wird ein Farbmeßgerät geschaffen, welches auf der einen Seite einfach aufgebaut ist, welches aber auf der anderen Seite so gestaltet ist, daß eine vollständige Erfassung der spektralen Verteilung einer Strahlungsquelle möglich ist, wobei im Unterschied zu den bekannten Geräten keine aufwendigen, exakten Filter und keine teuren Gitter benötigt werden.

Die Erfindung kann in unterschiedlicher Weise verwirklicht werden, wobei das erfinderische Prinzip in allen Ausführungsformen beibehalten wird.

In einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist die Vorrichtung als aktive Vorrichtung gestaltet. Dies bedeutet, daß die Vorrichtung über wenigstens eine Strahlungsquelle verfügt, in der elektrische Energie in Strahlungsenergie umgewandelt wird. Die von einer zu messenden Probe reflektierte Strahlung bzw. die durch die Probe durchtretende Strahlung wird von einer Sensoreinrichtung erfaßt und durch die Steuereinrichtung ausgewertet.

Der Aufbau dieser aktiven Vorrichtung kann in unterschiedlicher Weise gestaltet werden.

Bei einer ersten zu bevorzugenden Ausführungsform ist eine Anzahl von n Strahlungsquellen mit unterschiedlicher spektraler Charakteristik vorgesehen, deren Charakteristiken so ausgewählt sind, daß sie sich zumindest teilweise überlappen und daß sie voneinander linear unabhängig sind. Zur Erfassung der vom Körper reflektierten oder durch den Körper hindurch geleiteten Strahlung ist ein Sensor vorgesehen, der im gesamten interessie-

renden Wellenlängenbereich der Strahlung empfindlich ist.

Zur Kalibrierung der Vorrichtung wird für jede individuelle Vorrichtung ein Satz von  $n$  Eichstandards mit bekannter Reflexionscharakteristik im interessierenden Wellenlängenbereich vermessen. Werden beispielsweise 8 Strahlungsquellen mit linear voneinander unabhängiger spektraler Charakteristik benutzt, so werden 8 Eichstandards verwendet und in vorgegebenen Wellenlängenabständen, beispielsweise für 50 äquidistante Stützstellen im interessierenden Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm, die entsprechenden bekannten Reflexionswerte dieser Eichstandards in die Vorrichtung eingegeben. Die Messung erfolgt sequentiell, dies bedeutet, daß für jede einzelne Lichtquelle die Reflexionsintensität für alle 8 Eichstandards gemessen werden.

Auf diese Weise werden, wie dies in der speziellen Beschreibung im einzelnen erläutert ist, acht Kalibrierfunktionen in Abhängigkeit der Wellenlänge gebildet. Wird nun das Reflexions- oder Transmissionsverhalten einer unbekannten Probe gemessen, so werden die für die acht unterschiedlichen Lichtquellen erhaltenen Meßergebnisse mit diesen Kalibrierfunktionen verknüpft und es ergibt sich dann die spektrale Charakteristik des Reflexions-/Transmissionsvermögens der Probe.

Auf diese Weise ist es möglich, ohne Monochromator und ohne komplizierte spektrale Zerlegung des Lichtes einer Strahlungsquelle die spektrale Charakteristik der Probe zu erfassen.

Falls die Auflösung mit z. B. 50 Stützstellen nicht ausreicht, kann die Genauigkeit ohne weiteres erhöht werden, indem 100 oder 200 Stützstellen verwendet werden.

In einer zweiten Ausführungsform wird nur eine Lichtquelle verwendet, welche Licht im gesamten interessierenden Wellenlängenbereich mit vorgegebener Charakteristik ausstrahlt. In diesem Fall sind eine Anzahl von  $n$  Sensoren mit unterschiedlicher spektraler Charakteristik vorgesehen, wobei sich die Wellenlängenbereiche der Sensoren wenigstens teilweise überlappen und wobei die Charakteristiken voneinander linear unabhängig sind.

Auch in diesem Fall wird eine Anzahl von  $n$  Eichstandards vermessen und die Auswertung wird durchgeführt, wie vorstehend für  $n$  verschiedene Lichtquellen beschrieben.

Bei einer dritten Ausführungsform der aktiven Vorrichtung ist eine Anzahl von  $n$  Lichtquellen mit unterschiedlicher spektraler Charakteristik vorgesehen, wobei sich die Charakteristiken im interessierenden Wellenlängenbereich zumindest teilweise überlappen und wobei diese Charakteristiken voneinander linear unabhängig sind, sowie eine Anzahl von  $m$  Sensoren von unterschiedlicher spektraler Charakteristik, wobei sich die Charakteristiken der Sensoren ebenfalls teilweise überlappen und voneinander linear unabhängig sind.

In diesem Fall werden im Idealfall  $p = nm$  Eichstandards zur Kalibrierung verwendet, und es wird in gleicher Weise ein lineares Gleichungssystem aufgestellt und Kalibrierfunktionen ermittelt, wie dies bei den vorstehenden Ausführungsbeispielen der Fall ist. Falls in einem bestimmten Wellenlängenintervall kein Unterschied der spektralen Sensorcharakteristik bezüglich einer der Lichtquellen besteht, reduziert sich die Zahl der Kalibrierfunktionen und damit auch die Anzahl der zu verwendenden Eichstandards entsprechend.

Eine weitere zu bevorzugende Ausführungsform des Farbmeßgerätes ist als passive Vorrichtung gestaltet. Bei dieser Vorrichtung ist keine Strahlungsquelle vorgesehen, sondern es ist eine Anzahl von  $n$  Sensoren mit teilweise überlappenden, linear voneinander unabhängigen spektralen Charakteristiken vorgesehen. Diese Vorrichtung kann verwendet werden, um die spektrale Charakteristik von aktiven Strahlungsquellen, also beispielsweise des Umgebungslichtes, einer bestimmten Lichtquelle und dergleichen, zu erfassen.

Bei dieser Ausführungsform erfolgt die Kalibrierung in entsprechender Weise mit  $n$  aktiven Strahlungsquellen, deren spektrale Charakteristik im interessierenden Wellenlängenbereich bekannt ist. Als aktive Strahlungsquellen können beispielsweise Reflexions-Eichstandards mit bekannter Reflexionscharakteristik verwendet werden, die mit einer externen Lichtquelle mit bekannter spektraler Intensitätsverteilung beleuchtet werden. Aus dem Produkt der spektralen Charakteristik der Lichtquelle und der spektralen Charakteristik des Reflexions-Eichstandards ergibt sich dann die Farbreizfunktion, die von den Sensoren der Vorrichtung erfaßt wird. Mit dieser bekannten Charakteristik werden wiederum wie bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen die Kalibrierfunktionen gebildet und darauf in der Vorrichtung aus den Meßergebnissen die spektrale Verteilung einer strahlungsquelle bestimmt.

Die Anzeige der gemessenen und berechneten Werte kann bei allen vorstehend beschriebenen Ausführungsformen in unterschiedlichen Variationen erfolgen.

Vorzugsweise erfolgt die Darstellung mit einem Display, das entweder unmittelbar an der Vorrichtung selbst angeordnet ist oder das auch separat von der Vorrichtung sein kann und mit dieser durch ein Kabel od. dgl. verbunden ist.

Auf einem solchen Display kann dann die ermittelte spektrale Strahlungsverteilung in einem üblichen rechtwinkligen Koordinatensystem über der Wellenlänge dargestellt werden.

Es ist weiterhin möglich, aus der spektralen Verteilung Farbkennwerte nach einem der bekannten Farbstandards zu berechnen. Besonders bevorzugt weist die Vorrichtung eine Schalteinrichtung auf, die beispielsweise mit mehreren einzelnen Eingabeschaltern bestückt ist, mit der zwischen mehreren Farbstandards umgeschaltet werden kann, so daß eine einmal erfolgte Messung auf verschiedene Weise ausgewertet werden kann.

Bei einer Weiterbildung dieser Ausführungsform kann die Steuereinrichtung so gestaltet werden, daß außer der vollständigen spektralen Verteilung und der Ausgabe genormter Farbkennwerte die Ausgabe von Meßwerten in der Weise möglich ist, daß die Vorrichtung einen bestimmten Gerätetyp nachbildet. Dies erlaubt es dem Benutzer, die Meßwerte der Vorrichtung mit den Meßwerten des anderen Gerätetyps unmittelbar zu vergleichen, auch wenn die Ausgabe dieses anderen Gerätetyps nicht nach genormten Farbkennwerten erfolgt.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung.

Darin zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 ein Diagramm, welches die spektrale Intensitätsverteilung von acht verschiedenen LEDs zeigt, wobei

die Intensität auf der Ordinate und die Wellenlänge auf der Abszisse dargestellt ist;

Fig. 3 die Remissionsspektren von acht Eichstandards, wobei das Remissionsvermögen auf der Ordinate und die Wellenlänge auf der Abszisse abgetragen ist;

Fig. 4 die Kalibrierfunktionen eines Kalibrierbeispiels für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1;

Fig. 5 ein Beispiel eines Meßergebnisses bei der Berechnung des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1;

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 9 ein Detail einer Meßeinrichtung, und zwar ein Farbmeßkopf zum Aufsetzen auf eine zu messende Fläche in einer Schnittdarstellung und

Fig. 10 eine Aufsicht auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 9.

Die Erfindung wird nun in bezug auf die erste Ausführungsform beschrieben, deren Aufbau in Fig. 1 schematisch dargelegt ist.

Diese Ausführungsform ist dafür vorgesehen, Reflexionseigenschaften einer zu prüfenden Oberfläche 1 festzustellen.

Die Vorrichtung weist dazu eine Lichtquelle 2 auf, die eine Vielzahl von Licht ausstrahlenden Elementen L1 bis L8 aufweist, sowie eine Sensoreinrichtung 3.

Die lichtausstrahlenden Elemente L1 bis L8 sind LEDs (Light Emitting Diodes), der Lichtsensor 3 kann aus einer Gruppe von lichtempfindlichen Elementen ausgewählt werden, die eine Fotodiode, einen Fototransistor, einen Fotowiderstand, etc. enthält. Wesentlich ist, daß der Lichtsensor 3 im gesamten interessierenden Wellenbereich, das ist bei Licht der Bereich zwischen 380 und 780 nm, empfindlich ist.

Die Eigenschaften der LEDs werden weiter unten in bezug auf die Funktion des Ausführungsbeispiels erläutert.

Die Vorrichtung wird insgesamt von einer Steuereinrichtung 5 gesteuert, die vorzugsweise einen Mikroprozessor und die verschiedenen Signalein- und -ausgänge aufweist, um den Betrieb der Lichtquellen L1 bis L8 zu steuern und Meßwerte vom Fotosensor 3 aufzunehmen. Die Steuereinrichtung ist mit einer Speichereinrichtung 6 verbunden, in der ein Programm zum Betrieb der Steuereinrichtung abgespeichert ist und in dem auch die Meßwerte während des Meßvorgangs abgespeichert werden.

Weiterhin ist die Steuereinrichtung bei diesem Ausführungsbeispiel mit einer Anzeigeeinrichtung 8 verbunden. Diese Anzeigeeinrichtung ist vorzugsweise als LCD-Anzeige (Liquid Crystal Display) aufgebaut und ist in der Lage, Zahlen und grafische Symbole darzustellen.

Die Steuereinrichtung ist weiterhin mit einer Eingabeeinrichtung 9 verbunden, die es dem Benutzer ermöglicht, Befehle an die Steuereinrichtung einzugeben. Diese Steuereinrichtung kann aus mehreren Schaltern bestehen, die vom Benutzer betätigt werden, es kann aber auch eine vollständige alphanumerische Tastatur für die Eingabe von Zahlen und Buchstaben vorgesehen sein.

Statt der Anzeigeeinrichtung 8 und der Eingabeeinrichtung 9 sowie, je nach Gestaltung auch statt der Speichereinrichtung 6, kann die Steuereinrichtung 5 unmittelbar an einen Computer angeschlossen werden, beispielsweise an einen zentralen Computer oder an einen PC. In diesem Fall werden die Funktionen der Steuereinrichtung über den PC gesteuert und die Ergebnisse auf dem Monitor des PC dargestellt.

Es kann weiterhin eine Druckeinrichtung vorgesehen sein, um Buchstaben, Zahlen und insbesondere grafische Symbole auszugeben.

Die Funktion dieses Ausführungsbeispiels und insbesondere die zugrundeliegende mathematische Analyse wird nun in bezug auf die Fig. 2 bis 5 erläutert:

Die Vorrichtung weist 8 LEDs auf, deren spektrale Intensitätsverteilung im Wellenlängenintervall zwischen 380 und 780 nm unterschiedlich ist. Unterschiedlich bedeutet in diesem Fall, daß die spektralen Verläufe, wie sie in Fig. 2 dargestellt sind, linear voneinander unabhängig sind. Die gewünschte lineare Unabhängigkeit kann erreicht werden, indem entsprechend viele LEDs mit unterschiedlicher spektraler Charakteristik ausgewählt werden oder indem die LEDs mit einem Filter versehen werden, der dem von dieser Lichtquelle ausgestrahlten Licht insgesamt eine spektrale Verteilung verleiht, die von der Verteilung der anderen LEDs linear unabhängig ist.

Die spektralen Charakteristiken der LEDs müssen weiterhin so ausgewählt werden, daß sich die Bereiche zumindest teilweise überlappen. Dadurch wird sichergestellt, daß eine Belichtung der Probe im gesamten interessierenden Wellenlängenbereich erfolgt.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel einer spektralen Wellenlängenverteilung von 8 LEDs, wie sie nach der Erfindung benötigt werden. Auf der Ordinate ist die Intensität der LEDs, normiert auf einen Kennwert 1 dargestellt, während auf der Abszisse der Wellenlängengereich zwischen 380 und 780 nm dargestellt ist.

Entscheidend für die Funktion der Vorrichtung ist die Kalibrierung, die nachfolgend im einzelnen beschrieben wird.

Zur Kalibrierung wird eine Anzahl von Eichstandards mit bekanntem Remissionsspektrum verwendet, wobei die spektralen Verteilungen der einzelnen Eichstandards ebenfalls wieder voneinander linear unabhängig sind.

Die spektrale Intensitätsverteilung von 8 beispielhaft ausgewählten Eichstandards ist in Fig. 3 dargestellt. Dabei ist auf der Ordinate ein dimensionsloser Kennwert für das Reflexionsvermögen aufgetragen, während auf der Abszisse wiederum der interessierende Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm aufgetragen ist.

Zur Kalibrierung wird jeder Eichstandard nacheinander mit den einzelnen Lichtquellen L1 bis L8 beleuchtet und die Intensität des reflektierten Lichtes mit dem Sensor 3 gemessen. Die gemessenen Werte werden durch die Steuereinrichtung 5 erfaßt und im Speicher 6 der Vorrichtung abgelegt. Dieses Vorgehensweise wird für alle Eichstandards durchgeführt. Werden, wie im vorliegenden Fall, 8 Lichtquellen verwendet, so werden auch entsprechend 8 Eichstandards zur Kalibrierung benutzt.

Zur Auswertung der Kalibrierung wird folgendes mathematisches Verfahren angewendet:

Für jeden der Eichstandards ist das Remissionsverhalten über den gesamten Wellenlängenbereich bekannt. Wird nun ein Ausschnitt aus diesem Wellenlängenbereich, nämlich das Intervall  $\Delta\lambda$  betrachtet, so ergibt sich folgende Gleichung für den Zusammenhang zwischen den gemessenen Sensorsignalen und dem tatsächlichen

5 Remissionsvermögen in diesem Intervall:

$$I_{\Delta\lambda} = K_1 L_1 + K_2 L_2 + \dots + K_n L_n \quad 1.1$$

Darin bedeuten:

10  $I_{\Delta\lambda}$  Remissionsvermögen des Eichstandards im Intervall  $\Delta\lambda$ ,

$L_i$  gemessene remittierte Intensität der Lichtquelle  $i$ ,

$K_{i\Delta\lambda}$  Koeffizienten für das Intervall  $\Delta\lambda$ .

Es ergibt sich also eine Gleichung mit  $n$  unbekannten Koeffizienten  $K_1$  bis  $K_n$ , wobei  $n$  die Anzahl der linear unabhängigen Lichtquellen ist.

15 Wie ausgeführt, werden für die Kalibrierung  $m$  Eichstandards verwendet, wobei die Anzahl in gleich der Anzahl der unabhängigen Lichtquellen  $n$  ist.

Betrachtet man nun das Remissionsvermögen im gegebenen Intervall  $\Delta\lambda$  für jeden der  $m$  Eichstandards, ergibt sich folgendes Gleichungssystem:

$$\begin{aligned} I_{1\lambda} &= K_{1\lambda} L_{11} + K_{2\lambda} L_{21} + \dots + K_{n\lambda} L_{n1} \\ I_{2\lambda} &= K_{1\lambda} L_{12} + K_{2\lambda} L_{22} + \dots + K_{n\lambda} L_{n2} \\ \vdots &= \vdots + \vdots + \vdots + \vdots \\ I_{n\lambda} &= K_{1\lambda} L_{1n} + K_{2\lambda} L_{2n} + \dots + K_{n\lambda} L_{nn} \end{aligned} \quad 1.2$$

30 Darin bedeuten:

$I_{k\lambda}$  = Remissionsvermögen des Eichstandards  $k$  an der Stelle  $\lambda$ ,

$L_{ik}$  = gemessene Intensität bei Lichtquelle  $i$  auf Eichstandard  $k$ ,

$K_{i\lambda}$  = Koeffizient zu Lichtquelle  $i$  an der Stelle  $\lambda$ .

35 Dieses Gleichungssystem ist ein lineares Gleichungssystem, in dem die Werte  $I_1(\lambda)$  bis  $I_n(\lambda)$  bekannt sind, da Eichstandards mit bekanntem Reflexionsvermögen im Bereich  $\Delta\lambda$  vermessen worden sind, und in dem weiterhin die Werte  $L$  als Ergebnis der durchgeführten Messung bekannt sind. Unbekannt sind in dieser Gleichung die Koeffizienten  $K_1$  bis  $K_n$ .

40 Da die Charakteristiken der LEDs und der Eichstandards jeweils voneinander linear unabhängig sind, hat dieses Gleichungssystem in jedem Fall eine nicht-triviale Lösung, die sich ergibt, indem die Koeffizientenmatrix des Gleichungssystems invertiert und mit den bekannten Remissionswerten des Eichstandards multipliziert wird. Daraus folgen die Koeffizienten  $K_1$  bis  $K_n$ , wie dies in Gleichung 1.3 erläutert ist.

$$\begin{pmatrix} L_{11} & L_{21} & \dots & L_{n1} \\ L_{12} & L_{22} & \dots & L_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{1n} & L_{2n} & \dots & L_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} I_{1\lambda} \\ I_{2\lambda} \\ \vdots \\ I_{n\lambda} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ \vdots \\ K_n \end{pmatrix} \quad 1.3$$

55 Dieses Gleichungssystem bezieht sich auf ein ganz bestimmtes vorgegebenes Wellenlängenintervall  $\Delta\lambda$ . Unterteilt man den interessierenden Wellenlängenbereich in eine Anzahl von  $x$  gleichen Intervallen  $\Delta\lambda X$ , so ergeben sich entsprechend  $x$  lineare Gleichungssysteme der in Gleichung 1.3 beschriebenen Art.

Läßt man die Intervalle  $\Delta\lambda X$  kleiner werden, erhöht also im interessierenden Wellenlängenbereich die Anzahl  $x$ , so läßt sich schließlich der Grenzübergang 1.4

$$\lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \Delta\lambda \quad 1.4$$

60 durchführen. Dann stehen auf der linken Seite des gleichen Systems 1.2 nicht länger diskrete Remissionswerte  $I_{\Delta\lambda}$  für ein vorgegebenes Intervall, sondern die kontinuierlichen Remissionsspektren  $I_{K(\lambda)}$  der Eichstandards.

65 Auf der rechten Seite von Gleichung 1.2 werden die diskreten Koeffizienten  $K_{i\Delta\lambda}$  zur Funktion von  $\lambda$  und nach Umstellung ergibt sich folgende Lösung für das Gleichungssystem:

$$\begin{pmatrix} L_{11} & L_{21} & \cdots & L_{n1} \\ L_{12} & L_{22} & \cdots & L_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{1n} & L_{2n} & \cdots & L_{nk} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} I_1(\lambda) \\ I_2(\lambda) \\ \vdots \\ I_n(\lambda) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_1(\lambda) \\ k_2(\lambda) \\ \vdots \\ k_n(\lambda) \end{pmatrix} \quad 1.5$$

Darin bedeuten:

$L_{ik}$  = gemessenes Sensorsignal bei eingeschalteter Lichtquelle  $i$  auf Eichstandard  $k$ ,

$I_k(\lambda)$  = Remissionsspektrum des Eichstandards  $k$ ,

$k_i(\lambda)$  = Kalibrierfunktionen für die einzelnen Lichtquellen.

$k_1(\lambda)$  bis  $k_n(\lambda)$  sind nun Kalibrierfunktionen, die angeben, wie sich das auf die Probe auftreffende Licht der Lichtquellen  $L_1$  bis  $L_8$  anteilig aus den einzelnen Lichtquellen zusammensetzt.

Bei der Implementierung des Verfahrens in eine Vorrichtung, die mit einem konventionellen digitalen Mikroprozessor arbeitet, wird der Grenzübergang  $\rightarrow 0$  nicht durchgeführt, sondern eine entsprechend große Anzahl von  $x$  Stützstellen, beispielsweise 50 oder 100 Stützstellen, je nach gewünschter Auflösungsgenauigkeit, gewählt. Anstelle der kontinuierlichen Kalibrierfunktionen ergeben sich dann Funktionen, die durch diskrete Stützstellen gekennzeichnet sind. Wählt man die Anzahl  $x$  der Stützstellen groß genug, ergibt sich aus der diskreten Funktion jedoch ohne weiteres der kontinuierliche Funktionsverlauf, da die Reflexionseigenschaften keine Unstetigkeiten enthalten.

Die diskreten Funktionswerte der Kalibrierfunktionen werden im Gerät dauerhaft abgespeichert.

Die eigentliche Messung wird nun wie folgt durchgeführt:

Die zu messende Oberfläche wird, wie in Fig. 1 dargestellt, durch die LEDs  $L_1$  bis  $L_8$  nacheinander belichtet und die Meßwerte abgespeichert. Daraus ergibt sich ein Meßvektor  $M$ , mit einzelnen Werten  $M_1$  bis  $M_n$ , der genauso viele Komponenten hat, wie linear voneinander unabhängige Beleuchtungseinrichtungen  $L_1$  bis  $L_8$  vorhanden sind. Wenn als Sensor 3, wie zu bevorzugen ist, eine Fotodiode verwendet wird, sind die einzelnen Komponenten des Meßvektors  $M_1$  bis  $M_8$  Spannungswerte, die in Volt gemessen und abgespeichert werden. In diesem Fall werden auch die diskreten Einzelwerte der Kalibrierfunktionen unmittelbar in Volt abgespeichert.

Der Meßvektor wird mit den diskreten Werten der Kalibrierfunktionen multipliziert, wobei folgende Gleichung verwendet wird:

$$\text{Result}_{0 \leq r \leq x} = \sum_{n=0}^7 \overrightarrow{\text{Mess}} \cdot K_{n,r}$$

Darin bedeutet Result die Intensität an einer bestimmten Stützstelle  $r$ , Mess den Meßvektor und  $K_{n,r}$  den diskreten Kalibrierwert für die LEDs mit der Nummer  $n$  und die Stützstelle  $r$ .

Das Ergebnis ist also die Intensitätsverteilung über dem interessierenden Wellenlängenbereich für  $x$  Stützstellen.

Das Verfahren zur Kalibrierung und das Meßverfahren wird nun anhand eines Meßbeispiels erläutert.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung, deren Aufbau dem Aufbau in Fig. 1 entspricht, wurden mit den 8 verschiedenen LEDs die Remissionwerte von 8 verschiedenen Eichstandards gemessen. Daraus ergab sich eine Matrix von Meßwerten  $L$ , die in Tafel 1 wiedergegeben ist. Dabei entsprechen die Zeilen den einzelnen Eichstandards und die Spalten den LEDs. Die Werte dieser Matrix sind die unmittelbar erfaßten Spannungswerte des Lichtsensors 3 in Volt.

Für die Eichstandards sind die Remissionwerte in Schritten von 10 nm zwischen 380 und 720 nm, normiert auf den dimensionslosen Kennwert 1, der einer Remissionwert von 100% entspricht, vorgegeben. Die sich daraus ergebende Matrix hat folgenden Aufbau:

$$L = \begin{bmatrix} \text{Weiß}(\lambda=380) & \text{Weiß}(\lambda=390) & \cdots & \text{Weiß}(\lambda=720) \\ \text{Pink}(\lambda=380) & \text{Pink}(\lambda=390) & \cdots & \text{Pink}(\lambda=720) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Blau}(\lambda=380) & \cdots & \cdots & \text{Blau}(\lambda=720) \end{bmatrix}$$



Dabei entsprechen die einzelnen Zeilen wiederum den einzelnen Eichstandards, d. h. die erste Zeile enthält die Werte (die in der Tafel selbst nicht wiedergegeben sind) für einen Eichstandard in weißer Farbe, die zweite Zeile die Werte für einen Eichstandard mit der Farbe pink und die letzte dargestellte Zeile die Werte für einen Eichstandard in der Farbe blau. Bei der hier zur Vereinfachung vorgenommenen Unterteilung von 10 nm ergeben sich im Bereich von 380 bis 720 nm insgesamt 35 Stützstellen. Dies bedeutet, daß jede Zeile der Matrix I insgesamt 35 einzelne Funktionswerte aufweist.

Die Matrix L wird invertiert und mit den Werten von I multipliziert. Daraus ergeben sich die Kalibrierfunktionen, wie sie in der Fig. 4 wiedergegeben sind.

Bei der Messung einer unbekannten Probe wurden für die einzelnen LEDs der folgende Meßvektor ermittelt:

$$\vec{\text{Mess}} = 1.26, 1.173, 1.32, 1.11, 1.19, 1.095, \\ 1.295, 1.115$$

Diese Werte sind ebenfalls in der Einheit Volt.

Der Meßvektor M wird mit den Kalibrierfunktionen multipliziert. Da 35 diskrete Stützstellen vorhanden sind, werden die Kalibrierwerte für jede Stützstelle mit dem Meßvektor multipliziert und die einzelnen Werte addiert, wie dies in Gleichung 1.6 wiedergegeben ist.

Daraus ergibt sich der spektrale Verlauf der Probe, wie er in Fig. 5 dargestellt ist. In dieser Probe ist das Reflexionsvermögen auf der Ordinate und der Wellenlängenbereich wiederum auf der Abszisse aufgetragen. Aus der Spektralverteilung erkennt der Fachmann, daß hier eine grüne Probe vermessen worden ist.

Wie das Beispiel zeigt, ist es nach dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, mit einer relativ geringen Anzahl von nur 8 LEDs die spektrale Intensitätsverteilung über den gesamten Bereich des sichtbaren Lichtes zu erhalten. Falls der Benutzer weitere Informationen wünscht, können aus dieser spektralen Verteilung gemäß den in der Farbmetrik bekannten Beziehungen die Farbkennwerte nach CIE, ASTM oder DIN berechnet und angezeigt werden.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nun in bezug auf die Fig. 6 beschrieben.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 nur eine Strahlungsquelle 21 vorgesehen, die Licht über den gesamten interessierenden Wellenlängenbereich ausstrahlt. Das Licht der Strahlungsquelle 21 wird von der Probe 20 reflektiert und fällt auf 8 Sensoren S1 bis S8, deren jeweilige Wellenlängencharakteristika sich wenigstens teilweise überlappen und linear voneinander unabhängig sind.

Die lineare Unabhängigkeit kann erreicht werden, indem entsprechend viele verschiedene Typen von Sensoren verwendet werden, oder indem die Sensoren Filter aufweisen, die die gewünschte unterschiedliche spektrale Verteilung ergeben.

Die übrigen Teile der Steuereinrichtung 5, Speicher 6, Display 8 usw. sind wie beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1.

Die Funktion dieses Ausführungsbeispiels ist wie folgt:

Die Lichtquelle 21 wird einmal betätigt und es werden die Signale der Sensoren S1 bis S8 durch die Steuereinrichtung 5 aufgenommen und im Speicher 6 abgelegt.

Es wird dann in gleicher Weise ein Gleichungssystem aufgestellt, wie dies vorstehend in bezug auf die Gleichungen 1.1 bis 1.5 erläutert wurde. Im Unterschied zu den vorstehend erläuterten Gleichungen ist hier jedoch nicht  $L_i$  die gemessene remittierte Intensität der Lichtquelle I, sondern die durch den Sensor I gemessene remittierende Intensität. In entsprechender Weise ist  $K_{ix}$  der Koeffizient des Sensors I an der Stelle X und die Kalibrierfunktion  $K_i(\lambda)$  bilden dann die Kalibrierfunktionen für die einzelnen Sensoren.

Im übrigen gelten für die mathematische Analyse und für die Berechnung der spektralen Verteilung aus den Meßwerten das gleiche wie vorstehend in bezug auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 erläutert.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nun in bezug auf die Fig. 7 beschrieben.

Bei diesem Ausführungsbeispiel sind drei Lichtquellen L1, L2, L3 vorgesehen, die insgesamt als Strahlungsquellen 31 bezeichnet sind. Das von diesen Lichtquellen an der Probe 30 reflektierte Licht wird von einer Empfangseinrichtung 32 aufgenommen, die drei Sensoren S1, S2 und S3 aufweist.

Die spektrale Charakteristiken der Lichtquellen L1, L2, L3 überlappen sich zumindest teilweise und sind linear voneinander unabhängig. Entsprechendes gilt auch für die Sensoren S1, S2 und S3.

Die übrigen Bauteile der Vorrichtung entsprechen den Bauteilen, wie sie in bezug auf Fig. 1 und Fig. 6 beschrieben wurden.

Die Funktion dieses Ausführungsbeispiels ist wie folgt:

Die Kalibrierung wird in gleicher Weise vorgenommen, wie in bezug auf die Fig. 1 und 6 beschrieben. Es werden bei diesem Ausführungsbeispiel aber insgesamt 9 Eichstandards benötigt und es wird jeder Eichstandard hintereinander durch die Lichtquellen L1, L2 und L3 beleuchtet. Die jeweils mit den Sensoren S1 bis S3 gemessenen Meßwerte werden im Speicher abgelegt. Dann werden in ähnlicher Weise Kalibrierfunktionen gebildet, wie vorstehend beschrieben. Dabei wird von folgender Gleichung ausgegangen:



$$I_{\Delta\lambda} = \sum_{i=1}^{i=3} \sum_{j=1}^{j=3} K_{i,j} \cdot L_{i,j} \quad 1.1'$$

Darin bedeuten:

$I$  = Remissionsvermögen des Eichstandards im Intervall  $\Delta\lambda$ ,

$K_{i,j}$  = Koeffizient für das jeweilige  $\Delta\lambda$  für die Lichtquelle  $I$  und den Sensor  $J$ ,

$L_{i,j}$  = vom Sensor  $J$  gemessene remittierte Intensität der Lichtquelle  $I$ .

Es ergeben sich dann  $n = I \cdot J$  unbekannte Koeffizienten  $K_{i,j}$ , das bedeutet beim vorliegenden Ausführungsbeispiel mit drei Lichtquellen und drei Sensoren insgesamt neun unbekannte Koeffizienten. Mit neun Eichstandards ergibt sich dann wieder ein Gleichungssystem, wie dies in Gleichung 1.2 beschrieben ist, und welches neun Gleichungen mit neun unbekannten Koeffizienten aufweist. Dieses Gleichungssystem kann, wie vorstehend beschrieben, gelöst werden und es ergeben sich dann neun Kalibrierfunktionen. Aus diesen Kalibrierfunktionen wird in gleicher Weise dann die spektrale Verteilung berechnet, wie dies in bezug auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 erläutert wurde.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel wird nun in bezug auf die Fig. 8 beschrieben.

Dieses Ausführungsbeispiel ist dafür vorgesehen, aktiv strahlende Strahlungsquellen zu vermessen, d. h. es ist keine Einrichtung vorgesehen, um eine Probe mit einer Lichtquelle zu bestrahlen.

Die Strahlungsquelle ist insgesamt mit 40 bezeichnet und es ist eine Sensoreinrichtung 41 mit 8 Sensoren S1 bis S8 vorgesehen, um die von der Strahlungsquelle 40 ausgehende Strahlung zu erfassen. Die Sensoren S1 bis S8 überlappen sich zumindest teilweise im interessierenden Bereich und weisen spektrale Charakteristiken auf, die voneinander linear unabhängig sind.

Die übrigen Bauteile der Vorrichtung entsprechen den Bauteilen, wie sie vorstehend in bezug auf die anderen Ausführungsbeispiele erläutert wurden.

Die Funktion dieser Vorrichtung ist wie folgt:

Zur Kalibrierung der Vorrichtung wird ein Meßaufbau verwendet, der der Vorrichtung gemäß Fig. 6 entspricht. Dies bedeutet, daß eine Lichtquelle mit bekannter spektraler Verteilung verwendet wird, mit der eine Anzahl von Eichstandards belichtet wird, die der Anzahl der Sensoreinrichtung 41 entspricht. Aus den aufgenommenen und im Speicher 6 abgelegten Meßwerten werden Kalibrierfunktionen gebildet, wie dies vorstehend erläutert worden ist. Statt der Eichstandards können auch eine entsprechende Anzahl von Lichtquellen mit bekannter spektraler Charakteristik verwendet werden.

Zur Messung wird das Licht der zu messenden Strahlungsquelle aufgenommen, wobei die Strahlungsquelle eine aktiv strahlende Quelle sein kann, also beispielsweise eine Lampe, eine LED oder dergl. oder aber auch eine passive Strahlungsquelle, beispielsweise eine Oberfläche, die mit Tageslicht oder Kunstlicht beleuchtet wird. Die von der Strahlungsquelle ausgehende Strahlung wird durch die Sensoren S1 bis S8 erfaßt und die Meßwerte im Speicher 6 abgelegt. Anschließend wird, wie vorstehend erörtert, mit Hilfe der gespeicherten Kalibrierfunktionen die spektrale Verteilung der Strahlungsquelle berechnet.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nun in bezug auf die Fig. 9 und 10 beschrieben. Dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt die konkrete Gestaltung eines Farbmeßkopfes zur Aufnahme von Strahlungsquellen und Sensoren.

Der Meßkopf besteht aus einer insgesamt mit 100 bezeichneten rotationssymmetrischen Meßglocke, in die Strahlungsquellen und Sensoren eingesetzt werden. Die Meßglocke weist einen zylindrischen Abschnitt 100a auf, an den sich ein Abschnitt 100b anschließt, der sich linear verjüngt. An diesen sich verjüngenden Abschnitt 100b schließt sich ein kreisscheibenförmiger Abschnitt 100c an. Der Winkel  $\alpha$ , den der sich verjüngende Abschnitt 100b zur Symmetrieachse der rotationssymmetrischen Meßglocke aufweist, beträgt z. B. 45°. In diesem sich verjüngenden Abschnitt sind insgesamt 24 Bohrungen 101 im äquidistanten Winkelabstand, bezogen auf die Rotations-Symmetrieachse der Glocke und in der gleichen Ebene in bezug auf diese Achse, angeordnet. In diese Bohrung 101 werden, wie später noch erläutert wird, 24 LEDs 110 bzw. 24 Sensoren angeordnet.

Im kreisförmigen Abschnitt 100c der Glocke ist eine Bohrung 104 konzentrisch zur Rotations-Symmetrieachse angeordnet, in der ein Meßzylinder 105 durch Kleben oder dgl. befestigt ist. Dieser Meßzylinder 105 ragt um eine bestimmte Länge in die Glocke hinein und trägt eine Linse 108, die dem offenen Ende 100d der Glocke zugewandt ist. An dem dieser Linse abgewandten Ende des Zylinders ist, in Fig. 9 nur schematisch angedeutet, eine Blende 107 vorgesehen, hinter der ein Sensor 106 befestigt ist.

Die Funktion dieses Ausführungsbeispiels ist wie folgt:

Der Farbmeßkopf ist dafür vorgesehen, in einer Anordnung verwendet zu werden, wie sie in bezug auf die Fig. 1 beschrieben worden ist. Die 24 LEDs 101 entsprechen also den dort gezeigten LEDs L1 bis L8.

Die 24 LEDs sind jeweils in Gruppen zu drei LEDs zusammengefaßt, die im gleichen Winkelabstand von 120° zueinander angeordnet sind und die jeweils das identische Licht ausstrahlen. Der Farbmeßkopf weist somit 8 Gruppen von verschiedenen LEDs auf. Die spektrale Verteilung dieser 8 LED-Typen überlappt sich zumindest teilweise im interessierenden Wellenlängenbereich und ist linear voneinander unabhängig. Die Verwendung von 3 im Umfang verteilten LED's hat den Vorteil, daß eine eventuelle Schattenbildung bei texturierten Oberflächen die Messung nicht verfälscht.

Der Sensor 106 entspricht dem Sensor 3 in Fig. 1 und kann die Intensität des Lichtes im gesamten interessierenden Wellenlängenbereich messen.

Zur Messung wird der Farbmeßkopf mit der Glocke 100 auf die zu messende Fläche aufgesetzt, und zwar vorzugsweise in der Art, daß kein Fremdlicht mehr in die Glocke einfallen kann. Dann werden hintereinander die jeweils drei zusammengehörigen LEDs 101 aktiviert und strahlen ihr Licht in Richtung auf den Meßfleck, der sich auf der Probe im wesentlichen in Verlängerung der Rotations-Symmetrieachse 103 der Glocke befindet. Das vom Meßfleck reflektierte Licht wird über den Sensor 106 erfaßt und im Speicher 6 der Vorrichtung abgelegt. Sobald alle Gruppen von LEDs aktiviert und die entsprechenden Meßwerte aufgenommen und im Speicher 6 abgelegt wurden, beginnt dann die Auswertung, wie sie vorstehend in bezug auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 beschrieben wurde.

Wie aus der Fig. 9 zu erkennen ist, ist durch die Winkelgestaltung des sich verjüngenden Abschnittes der Glocke sichergestellt, daß die LEDs im Winkel von  $45^\circ$  auf die zu messende Oberfläche strahlt. Würde die Reflexion exakt dem Fresnel'schen Reflexionsgesetz entsprechen, wonach der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist, würde das von der LED ausgestrahlte Licht nicht zum Sensor, sondern auf die jeweils gegenüberliegende Wand reflektiert. Dadurch ist sichergestellt, daß der Sensor nicht die Fresnel'sche Reflexion mißt, sondern die diffuse Reflexion der Meßfläche, die für den Farbeindruck entscheidend ist.

Für die Kalibrierung der Vorrichtung wird, wie dies in bezug auf die Fig. 1 erläutert worden ist, der Meßkopf auf Eichstandards mit bekanntem Reflexionsverhalten aufgesetzt und die Meßwerte zur Kalibrierung herangezogen.

Beim dem in Fig. 9 und 10 dargestellten Ausführungsbeispiel werden insgesamt 24 LEDs verwendet, die in Gruppen zu je drei identischen LEDs geschaltet sind. Statt dessen können auch mehr oder weniger LEDs verwendet werden oder auch eine andere Art der Gruppenbildung gewählt werden.

Eine (nicht dargestellte) Abwandlung des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 9 und 10 entspricht dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7.

Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ein Farbmeßkopf verwendet, wie er in Fig. 9 dargestellt ist. Statt des Sensors 106 wird jedoch in dem Zylinder eine Strahlenquelle verwendet, die den gesamten interessierenden Wellenlängenbereich überdeckt, und es werden statt der LEDs 110 Sensoren in den Bohrungen 101 angeordnet. Wird das Ausführungsbeispiel analog zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7 gestaltet, werden insgesamt acht Bohrungen 101 vorgesehen und insgesamt acht Sensoren verwendet, deren spektrale Charakteristika sich teilweise überlappt und die linear voneinander unabhängig sind.

Wie die vorstehenden Ausführungen zeigen, erlaubt es die vorliegende Erfindung, eine Vorrichtung zur Messung und Auswertung von spektralen Strahlungen zu schaffen, welche mit einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Strahlungsquellen bzw. Sensoren eine Erfassung der spektralen Verteilung einer Strahlung ermöglicht. Aufgrund des einfachen Aufbaues kann die Vorrichtung relativ klein und handlich gestaltet werden, so daß ihre Verwendung nicht nur im Labor möglich ist, sondern daß sie auch unmittelbar in der Produktion eingesetzt werden kann, um die Farbqualität laufend zu überwachen.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung und Auswertung einer spektralen Strahlung innerhalb eines vorgegebenen Wellenlängenbereiches und insbesondere zur Erfassung von Farbeigenschaften mit:
  - einer Anzahl von N1 Strahlungsquellen, welche eine Strahlung aussenden, die spektral über einen Wellenlängenbereich verteilt ist, der wenigstens teilweise innerhalb dieses vorgegebenen Wellenlängenbereiches liegt, wobei die spektralen Charakteristiken dieser einzelnen Strahlungsquellen voneinander unterschiedlich sind und N1 größer oder gleich 1 ist,
  - einer Sensoreinrichtung, welche die Strahlung innerhalb dieses vorgegebenen Wellenlängenbereiches erfaßt und ein elektrisches Signal erzeugt, welches repräsentativ ist für die Intensität der erfaßten Strahlung,
  - einer Steuereinrichtung, welche den Betrieb dieser Vorrichtung steuert und welche bewirkt, daß die Strahlungsquellen in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen in vorgegebenen Kombinationen betätigt werden,
  - einer Speichereinrichtung, in welcher die durch die Sensoreinrichtung erfaßten Werte für die jeweilige Kombination von Strahlungsquellen erfaßt und abgespeichert werden,
  - wobei die Steuereinrichtung aus diesen gespeicherten Werten Kennwerte zur Kennzeichnung der spektralen Eigenschaften dieser strahlungsquellen berechnet, dadurch gekennzeichnet, daß diese Strahlungsquellen derart ausgewählt sind, daß die Überlagerung ihrer spektralen Charakteristiken diesen vorgegeben Wellenlängenbereich abdeckt,
  - daß die spektralen Charakteristiken der Lichtquellen weiterhin derart beschaffen sind, daß die Charakteristiken von wenigstens N2 dieser Lichtquellen linear voneinander unabhängig sind,
  - daß diese Sensoreinrichtung eine Anzahl von M1 Sensoren aufweist, deren spektrale Charakteristiken sich im vorgegebenen Wellenlängenbereich so überlagern, daß dieser ganze vorgegebene Wellenlängenbereich abgedeckt ist, wobei M1 größer oder gleich 1 ist;
  - daß die spektralen Charakteristiken der Sensoren weiterhin derart beschaffen sind, daß die Charakteristiken von wenigstens M2 dieser Strahlungsquellen linear voneinander unabhängig sind,
  - daß das sich aus der Multiplikation der Werte für N2 und M2 ergebende Produkt  $P = N2 \cdot M2$  größer als 1 ist;
  - daß in dieser Speichereinrichtung eine Anzahl von P Kalibrierfunktionen gespeichert sind, die sich zumindest teilweise über diesen vorgegebenen Wellenlängenbereich erstrecken und die den Zusammenhang zwischen der mit der individuellen Vorrichtung gemessenen spektralen Intensitätsverteilung von P Eichstandards und deren bekannten Remissionsspektren definieren wobei die spektralen Charakteristiken dieser Remissionsspektren voneinander linear unabhängig sind und sich wenigstens teilweise so überlappen,

daß der gesamte Wellenlängenbereich erfaßt ist und

daß durch eine Verknüpfung dieser Kalibrierfunktionen mit den für die zu messende Strahlung durch die Sensoreinrichtung ermittelten Meßwerten der spektrale Verlauf der zu messenden Strahlung bestimmt wird.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl N1 und N2 größer ist als 1, d. h. daß wenigstens zwei Strahlungsquellen mit sich überlappenden und linear voneinander unabhängigen spektralen Charakteristiken vorgesehen sind, und daß die Anzahl M1 und M2 gleich 1 ist, d. h., daß ein Sensor vorgesehen ist, welcher innerhalb des gesamten vorgegebenen Wellenlängenbereiches empfindlich ist.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß diese Anzahl N1 und die Anzahl N2 1 ist, d. h. daß nur eine Strahlungsquelle vorgesehen ist, deren Strahlung diesen vorgegebenen Wellenlängenbereich abdeckt und daß die Anzahl M1 und M2 wenigstens gleich 2 ist, d. h., daß wenigstens zwei Sensoren vorgesehen sind, deren Charakteristiken sich wenigstens teilweise so überlappen, daß dieser gesamte vorgegebene Wellenlängenbereich abgedeckt ist und die Charakteristiken voneinander linear unabhängig sind.

4. Vorrichtung gemäß Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl N2 und M2 jeweils größer als 1 ist.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß diese Strahlungsquelle die zu messende Strahlung aus sendet und dieser vorgegebene Wellenlängenbereich der Wellenlängenbereich ist, in dem diese von dieser Strahlungsquelle ausgestrahlte Strahlung zu erfassen ist.

6. Vorrichtung gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des vorgegebenen Wellenlängenbereiches eine Anzahl von x, vorzugsweise äquidistante Stützstellen vorgesehen ist und daß diese Kalibrierfunktionen derart gebildet sind, daß die spektrale Verteilung der zu messenden Strahlen an diesen x Stützstellen bestimmt wird.

7. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß diese Kalibrierfunktionen an jeder dieser x Stützstellen bestimmt werden, indem ein lineares Gleichungssystem gelöst wird, welches p Gleichungen mit p unbekannten Koeffizienten enthält.

8. Vorrichtung gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß diese Vorrichtung einen Meßkopf aufweist, in dem diese Strahlungsquelle oder Strahlungsquellen und dieser Sensor oder diese Sensoren angeordnet sind.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Meßkopf als Glocke ausgebildet ist, welche eine Meßöffnung aufweist, mit der die Glocke auf eine zu messende Fläche aufsetzbar ist, und daß diese Strahlungsquellen und/oder diese Sensoren im Mantel dieser Glocke angeordnet sind.

10. Vorrichtung gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß diese Strahlungsquelle eine Beleuchtungseinrichtung ist.

11. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß diese Beleuchtungseinrichtung eine light emitting diode (LED) ist.

12. Verfahren zur Messung und Auswertung einer spektralen Strahlung innerhalb eines vorgegebenen Wellenlängenbereiches und insbesondere zur Erfassung von Farbeigenschaften bei welchem:

eine Anzahl von N1 Strahlungsquellen eine Strahlung aussenden, die spektral über einen Wellenlängenbereich verteilt ist, der wenigstens teilweise innerhalb dieses vorgegebenen Wellenlängenbereiches liegt, wobei die spektralen Charakteristiken dieser einzelnen Strahlungsquellen voneinander unterschiedlich sind und N1 größer oder gleich 1 ist,

eine Sensoreinrichtung die Strahlung innerhalb dieses vorgegebenen Wellenlängenbereiches erfaßt und ein elektrisches Signal erzeugt, welches repräsentativ ist für die Intensität der erfaßten Strahlung,

eine Steuereinrichtung vorgesehen ist, die den Betrieb dieser Vorrichtung steuert und bewirkt, daß die Strahlungsquellen in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen in vorgegebenen Kombinationen betätigt werden,

in einer Speichereinrichtung die durch die Sensoreinrichtung erfaßten Werte für die jeweilige Kombination von Strahlungsquellen erfaßt und abgespeichert werden, und

die Steuereinrichtung dann aus diesen gespeicherten Werten Kennwerte zur Kennzeichnung der spektralen Eigenschaften dieser Strahlungsquellen berechnet,

dadurch gekennzeichnet,

daß diese Strahlungsquellen derart ausgewählt sind, daß die Überlagerung ihrer spektralen Charakteristiken diesen vorgegeben Wellenlängenbereich abdeckt,

daß die spektralen Charakteristiken der Lichtquellen weiterhin derart beschaffen sind, daß die Charakteristiken von wenigstens N2 dieser Lichtquellen linear voneinander unabhängig sind,

daß diese Sensoreinrichtung eine Anzahl von M1 Sensoren aufweist, deren spektrale Charakteristiken sich im vorgegebenen Wellenlängenbereich so überlagern, daß dieser ganze vorgegebene Wellenlängenbereich abgedeckt ist, wobei M1 größer oder gleich 1 ist;

daß die spektralen Charakteristiken der Sensoren weiterhin derart beschaffen sind, daß die Charakteristiken von wenigstens M2 dieser Strahlungsquellen linear voneinander unabhängig sind,

daß das sich aus der Multiplikation der Werte für N2 und M2 ergebende Produkt  $P = N2 \cdot M2$  größer als 1 ist;

daß in dieser Speichereinrichtung eine Anzahl von P Kalibrierfunktionen gespeichert sind, die sich zumindest teilweise über diesen vorgegebenen Wellenlängenbereich erstrecken und die den Zusammenhang zwischen der mit der individuellen Vorrichtung gemessenen spektralen Intensitätsverteilung von P Eichstandards und deren bekannten Remissionsspektren definieren wobei die spektralen Charakteristiken

dieser Remissionsspektren voneinander linear unabhängig sind und sich wenigstens teilweise so überlappen, daß der gesamte Wellenlängenbereich erfaßt ist und daß durch eine Verknüpfung dieser Kalibrierfunktionen mit den für die zu messende Strahlung durch die Sensoreinrichtung ermittelten Meßwerten der spektrale Verlauf der zu messenden Strahlung bestimmt wird.

13. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl N1 und N2 größer ist als 1, d. h. daß wenigstens zwei Strahlungsquellen mit sich überlappenden und linear voneinander unabhängigen spektralen Charakteristiken vorgesehen sind, und daß die Anzahl M1 und M2 gleich 1 ist, d. h. daß ein Sensor vorgesehen ist, welcher innerhalb des gesamten vorgegebenen Wellenlängenbereiches empfindlich ist.

14. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß diese Anzahl N1 und die Anzahl N2 1 ist, d. h. daß nur eine Strahlungsquelle vorgesehen ist, deren Strahlung diesen vorgegebenen Wellenlängenbereich abdeckt und daß die Anzahl M1 und M2 wenigstens gleich 2 ist, d. h. daß wenigstens zwei Sensoren vorgesehen sind, deren Charakteristiken sich wenigstens teilweise so überlappen, daß dieser gesamte vorgegebene Wellenlängenbereich abgedeckt ist und die Charakteristiken voneinander linear unabhängig sind.

15. Verfahren gemäß Anspruch 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl N2 und M2 jeweils größer als 1 ist.

16. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß diese Strahlungsquelle die zu messende Strahlung aussendet und dieser vorgegebene Wellenlängenbereich der Wellenlängenbereich ist, in dem diese von dieser Strahlungsquelle ausgestrahlte Strahlung zu erfassen ist.

17. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des vorgegebenen Wellenlängenbereiches eine Anzahl von x, vorzugsweise äquidistante Stützstellen vorgesehen ist und daß diese Kalibrierfunktionen derart gebildet sind, daß die spektrale Verteilung der zu messenden Strahlen an diesen x Stützstellen bestimmt wird.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß diese Kalibrierfunktionen an jeder dieser x Stützstellen bestimmt werden, indem ein lineares Gleichungssystem gelöst wird, welches p Gleichungen mit p unbekannten Koeffizienten enthält.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

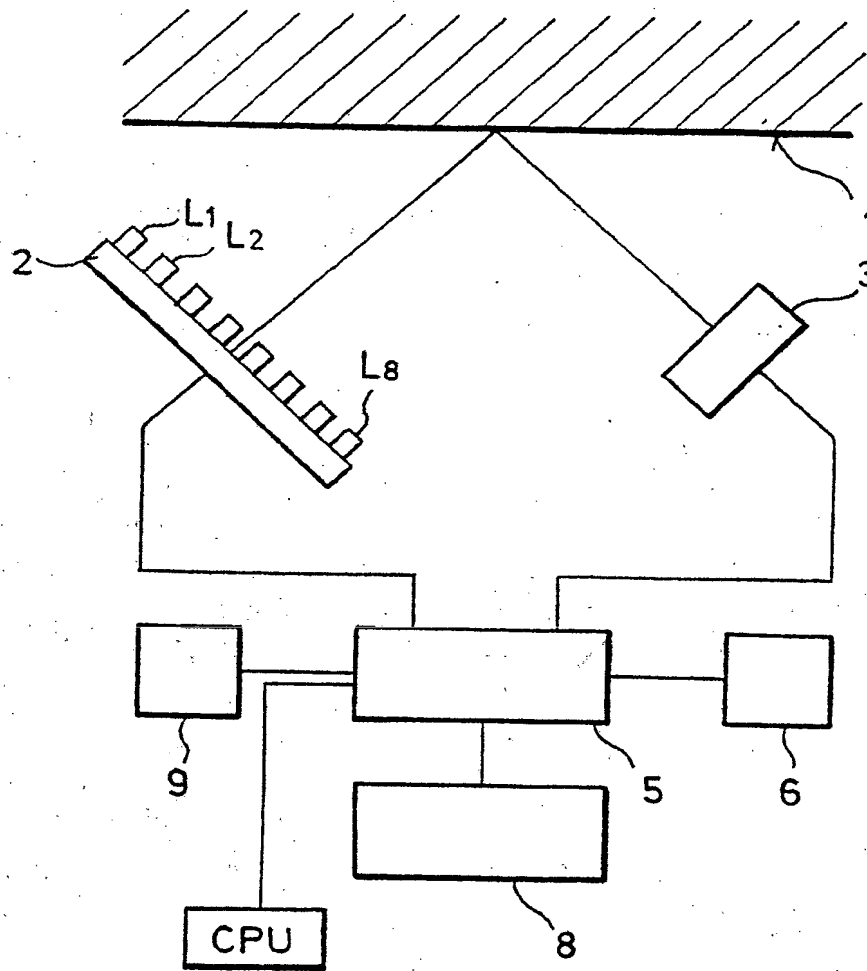


FIG.1

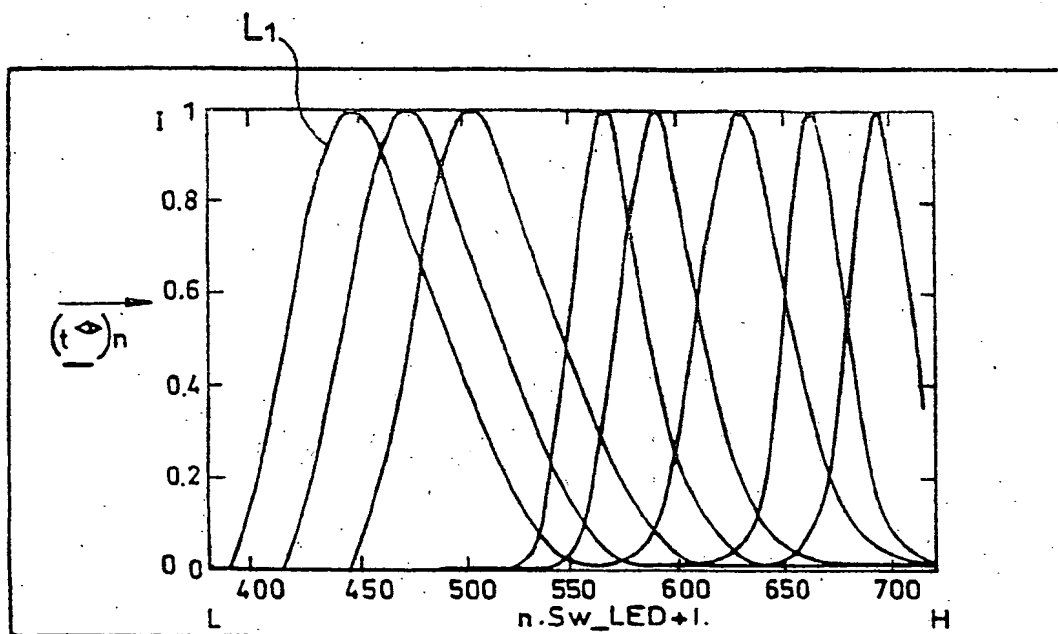


FIG. 2

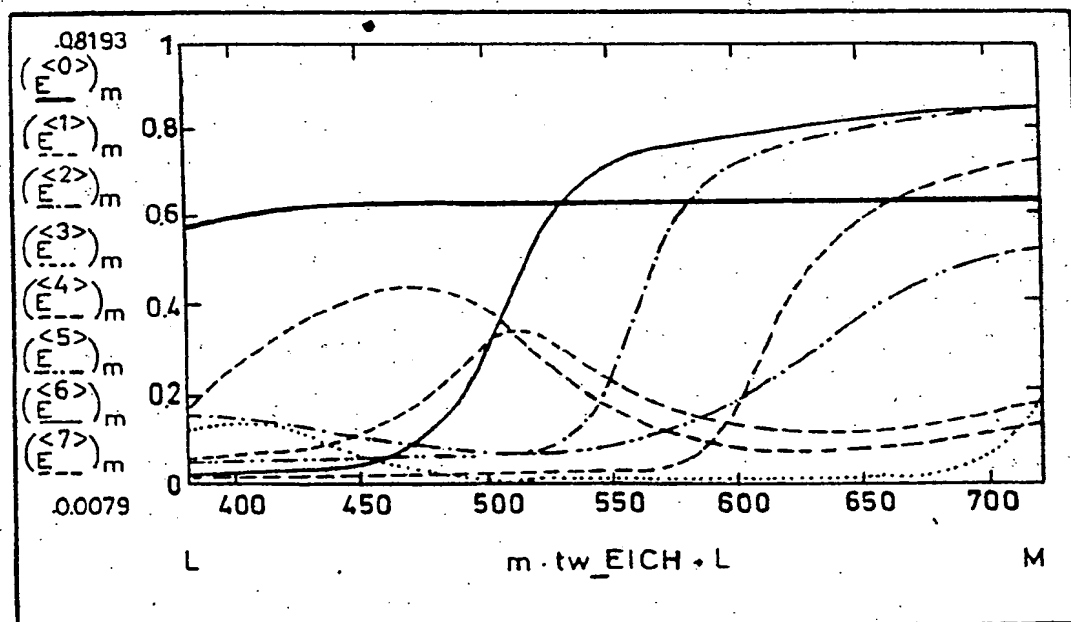


FIG. 3



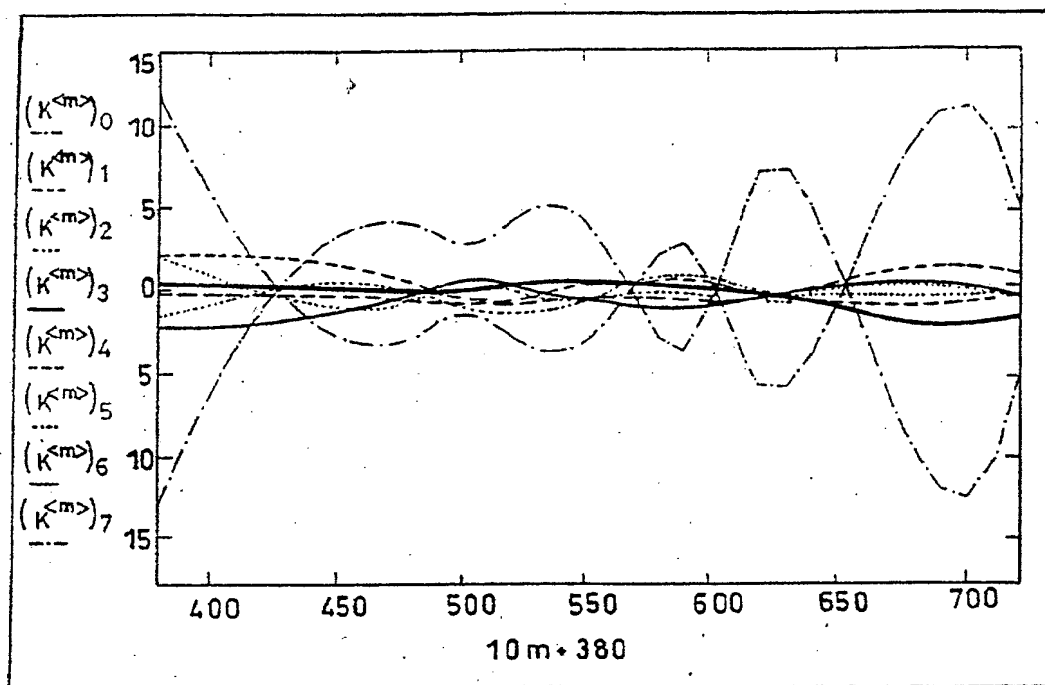


FIG. 4

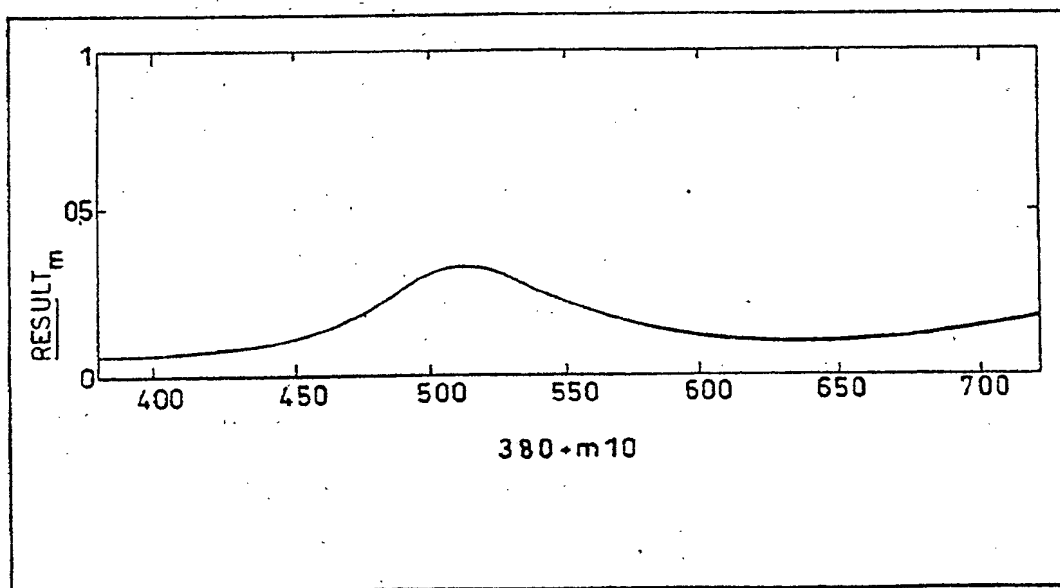


FIG. 5

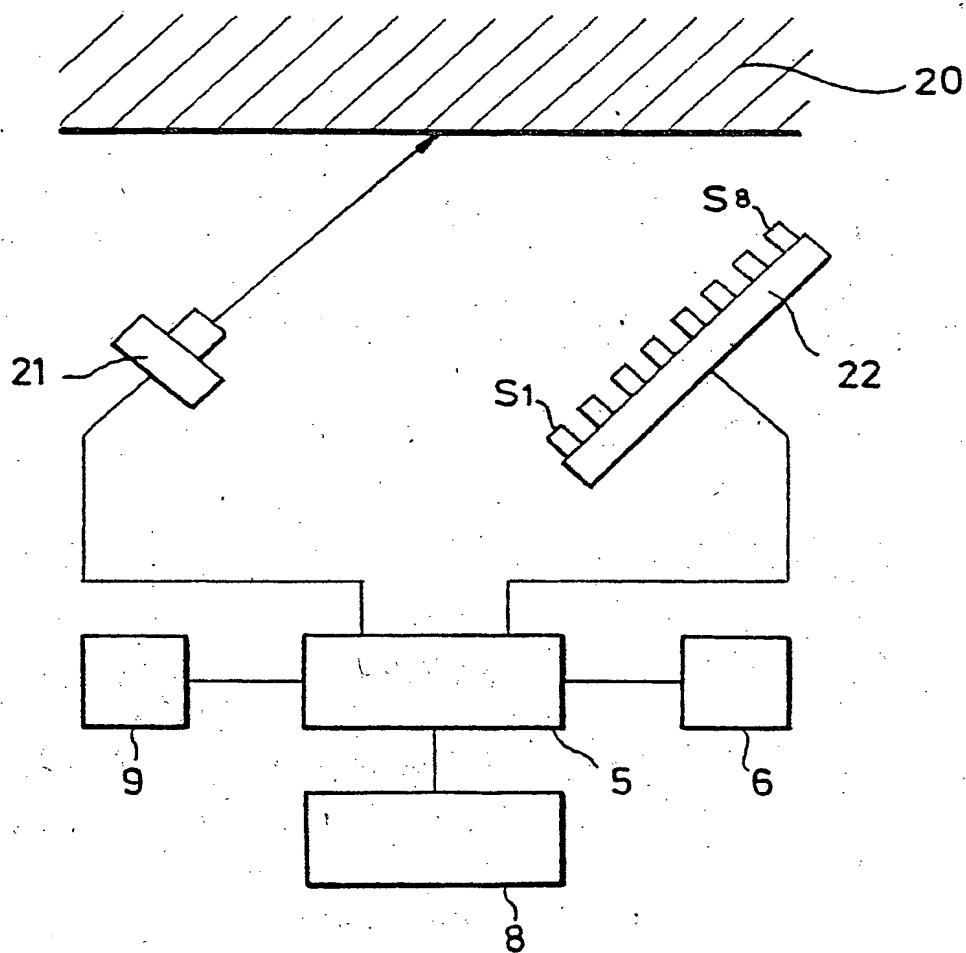


FIG. 6

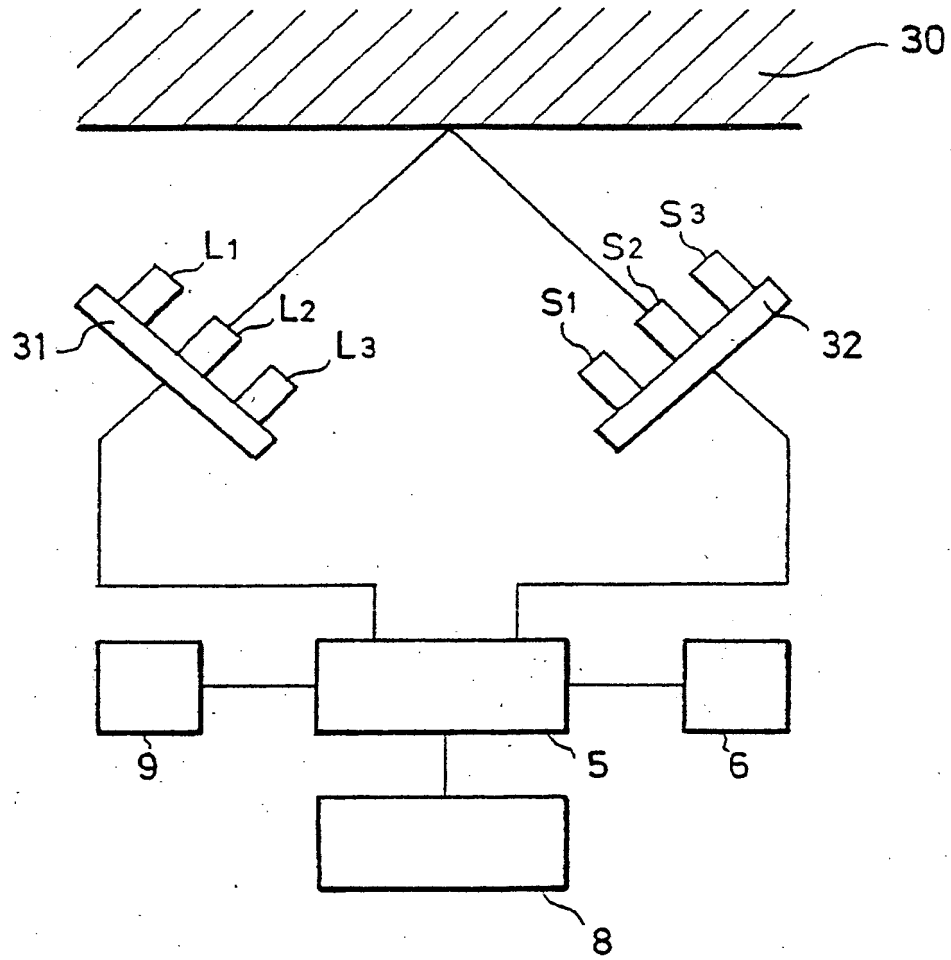


FIG. 7

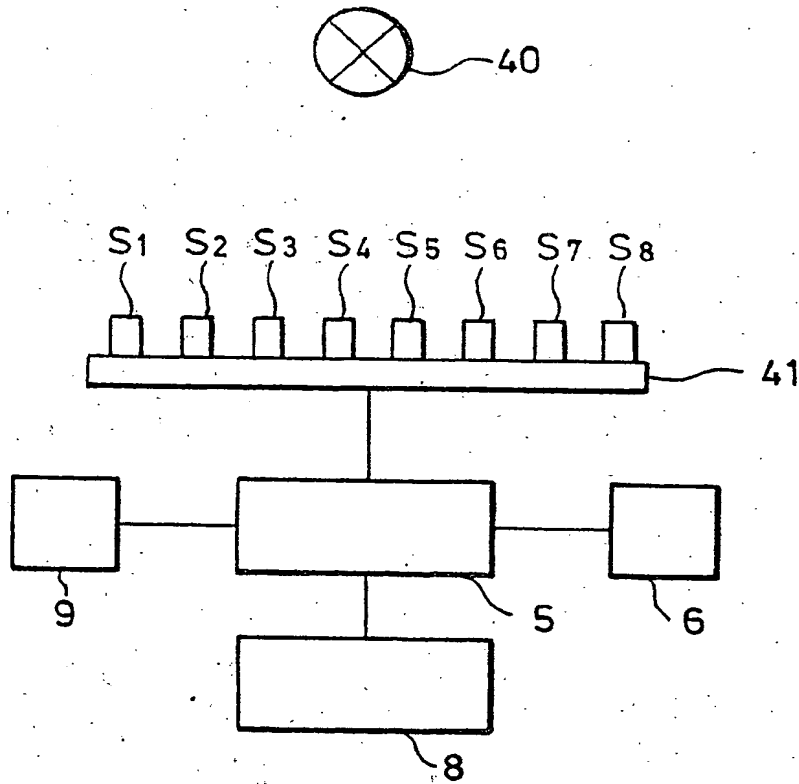


FIG. 8

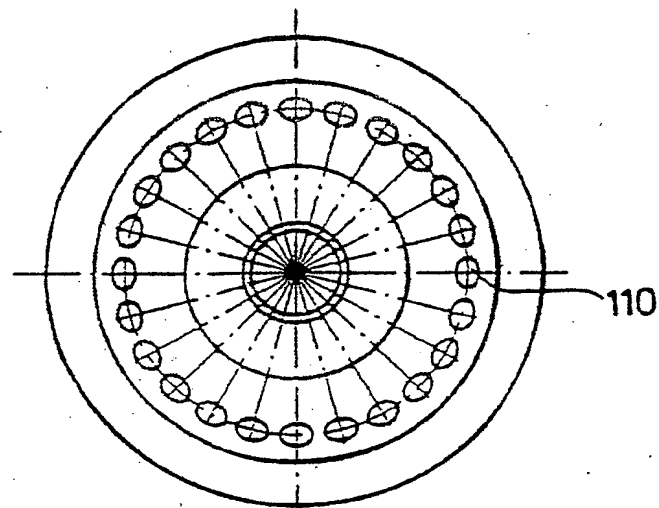


FIG. 10

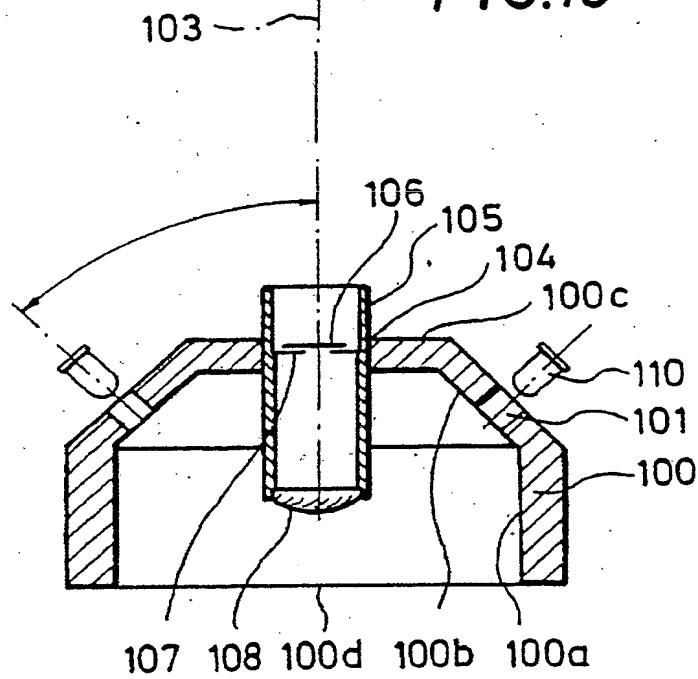


FIG. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**